

플라잉 상태에서 바지형태의 하네스에 대한 하중압력 분포 측정 및 가상착의 적용

권 미 연[†]

한국생산기술연구원, 소재부품융합연구부문[†]

Investigation of the body distribution of load pressure and virtual wear design of short pants harnesses in flying condition

MiYeon Kwon[†]

Researcher, Material & Component Convergence R&D Department, Korea Institute of Industrial
Technology[†]

(2021. 8. 28 접수; 2021. 9. 1 수정; 2021. 9. 6 채택)

Abstract

Virtual reality is currently mainly used in games, but is starting to be applied as a variety of media fields, such as broadcasting and film. Virtual reality provides more fun than reality, and can provide new experiences in areas that cannot be experienced in reality due to the constraints of time, space, and environment. In particular, as the social non-contact arena has increased due to COVID-19, it is being applied to education, health, and medical industries. The contents are further expanding into design and military fields. Therefore, the purpose of this study was to observe the change in distribution of load and pressure felt by the body in the flying state while wearing a short pants harness, which are mainly used in the game and entertainment industry. In the experiment, the average pressure in the flying state was measured by attaching a pressure sensor to the back and front of a human mannequin. As a result, it was confirmed that the load concentrated on the waist in the flying state was 44 N, with a pressure of 1353 kPa. The pressure distribution was concentrated in front of the center of gravity, and was measured was at 98% by the pressure sensors, with an average pressure value of approximately 15 kPa, and a pressure value of approximately 12 kPa at the back, which was measured at 67% by the pressure sensor. The results of the load and pressure distribution measurement are presented as fundamental data to improve the wearability and comfort of harnesses in the future, and are compared to actual measured pressure values by analyzing the clothing pressure in flight through virtual wear of harnesses through the CLO 3D program.

Key Words: pants harness(바지형태 하네스), Flying situation(플라잉 상태), virtual wear(가상착의), load pressure distribution(하중압력분포)

[†]Corresponding author ; MiYeon Kwon
Tel. +82-31-8040-6222
E-mail : mykwon@kitech.re.kr

※ 본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업과 경기도기술개발사업 “지능형 전자섬유 기반 스마트 텍스트로닉스 개발(kitech JA-21-0001/kitech IZ-21-0001)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

I. 서론

가상현실(Virtual Reality)은 사용자와 3차원 그래픽을 구성하고 있는 요소들과의 상호작용을 전제로 감각기관에 대한 직접적인 자극을 통해서 감각적이고 비언어적인 경험을 하는 것으로 사용자에게 높은 몰입감을 제공하여 교육, 의료, 군사 및 우주체험 등의 게임과 같은 다양한 분야에서 활발하게 사용되고 있다(Park & Lee, 2004; Seo, 2021). 장치를 착용하고 가상세계에 몰입하여 플레이할 수 있는 몰입형 가상현실 게임은 사용자의 머리에 착용하여 움직임이 많은 경험을 체험하는 것으로 어지럼증 및 멀미현상이 문제되고 있다. 최근 VR 착용에 의한 멀미 현상을 최소화하기 위하여 콘텐츠 진행에 따라 레일을 움직여 넓은 공간을 움직이는 것 같은 느낌을 극대화하는 VR 플라잉이 개발되었으며, 와이어에 연결된 하네스를 착용하여 어지럼증과 멀미를 최소화하고 있다(Noh, 2019).

엔터테인먼트용 활동 시 사용되는 기본장비(VR 장치, 컨트롤러 등)는 주로 상반신에 집중되어 있으며, 안전과 체험의 효과를 극대화하기 위해 착용하는 하네스는 하의형 하네스가 사용되고 있다. 하네스는 안전을 보장하기 위한 지지대로 그 용도에 따라 다양하게 사용되며 다리용 스트랩 고리, 허리 벨트 및 금속 버클로 구성되며, 하의형 하네스는 코르셋 형태로 허리만 지지해주는 하네스와 엉덩이와 다리까지 지지해주는 바지형태의 하네스가 있다. 사용자는 하네스를 착용할 때 스트랩 형태의 고리로 인해 통증이 나타나며 플라잉 상태에서 중력에 의해 접촉 부위(골반, 허벅지)에 압력이 가해져 불편함을 느낄 수 있다(Dongwoo et al., 2019).

미소중력 상태에서 시뮬레이션 된 Genc et al., (2006)의 연구에서 다양한 SDL 하중을 가하여 하네스 착용감에 대하여 연구한 결과, 피험자들에 의해 어깨 불편함이 가장 높게 평가되었으며, 이는 부분적으로 비 강성 펠트 코어(non-rigid felt core)가 있는 허리 벨트로 인해 어깨에 하중이 가해지는 것으로 나타났다. NASA의 인체측정 및 생체역학과 관련된 데이

터에 따르면 하중의 대부분을 골반으로 전달하는 허리 벨트가 적절하게 장착된 것으로 제안되었다(NASA-STD-3000, 1996). 따라서 허리에 집중되는 하네스의 불편감을 감소시키기 위하여 허리로 집중된 미소중력에 의한 하중압력을 엉덩이 하중으로 분산시키는 것이 필요하다.

하네스에 대한 착용감 향상을 위하여 다양한 평가가 이루어졌으며 1977년에 처음 추락방지 시스템의 최대 저지력과 관련하여 물리적인 분석이 이루어졌다. 민간 근로자를 위한 치수 적합성 연구를 위해 Hsiao et al., (2007)은 3D 스캐닝을 통하여 적합한 치수 체계를 형성하고자 하였다. 하네스 착용감 평가는 피험자에 하네스 착용 후 3D 스캐너를 이용하여 하네스가 착용된 위치와 각도에 따라 등급을 매겨 치수 적합성을 평가하였으며(Hsiao et al., 2007), 시각적인 평가가 아닌 실제적인 불편감을 측정하여 착용감을 평가할 수 있는 객관적인 데이터 확립이 필요하다.

체험활동 시 착용된 하네스는 순간적으로 신체에 작용하는 하중을 잘 분산시키지 못해 착용자에게 압박과 통증을 유발하여 오히려 체험활동의 몰입도를 떨어뜨릴 수 있으며, 하네스 착용 시 객관적인 데이터를 사용한 착용감 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 플라잉 상태에서 가해지는 중력 하중을 분산시키는 디자인을 개발하여 착용감을 증대시키고, 개발된 하네스에 센서를 부착한 후 하중 압력을 직접 측정하여 하중분산 정도를 파악하여 체험활동의 효과를 극대화시키고자 하였다. 또한, 3D 가상착의 시스템인 CLO 3D 프로그램을 이용하여 가상착의에 의복압을 나타내어 착의 상태를 확인하고 압박정도를 예측하기 위한 자료로 실제 실험복의 데이터와 비교하였다.

II. 연구방법

1. 하네스 및 하중압력 측정방법

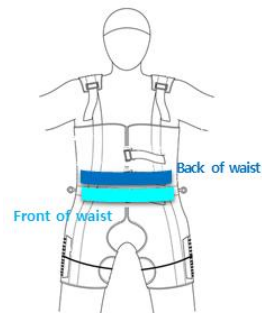
본 실험에서는 바지형태의 하네스 착용 시 신체에 걸리는 하중과 압력분포를 알아보고자



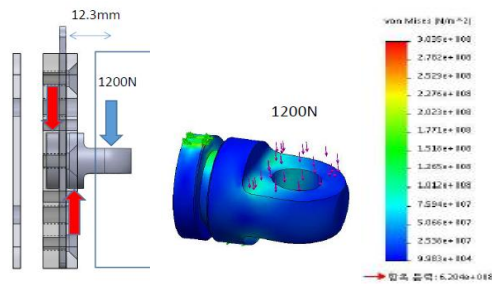
〈Fig. 1〉 Short pants harness



〈Fig. 2〉 Sensor and controller system for pressure measurement



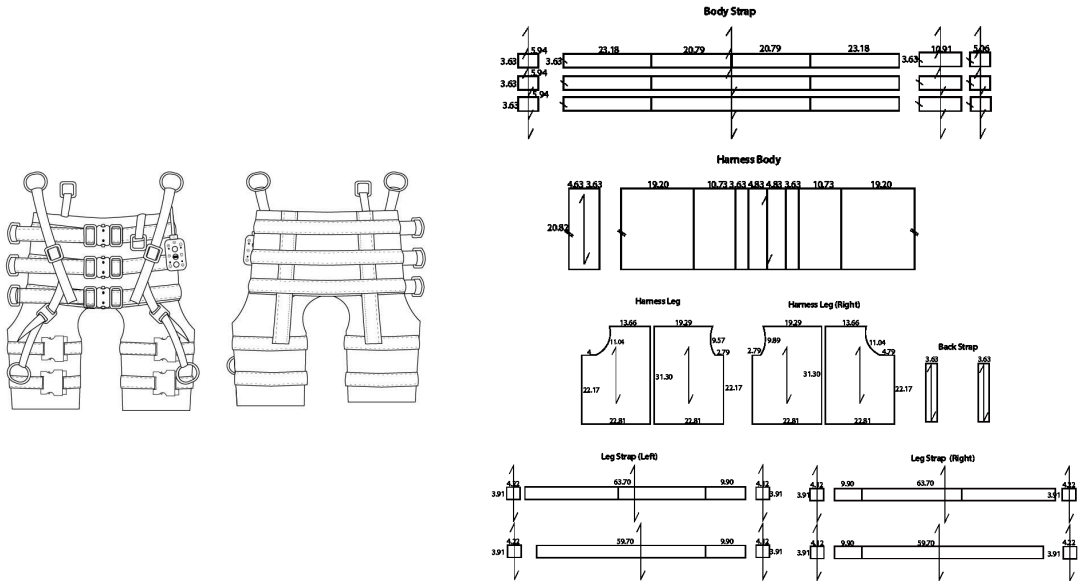
〈Fig. 3〉 Fastening device and sensor attachment position of short pants harness



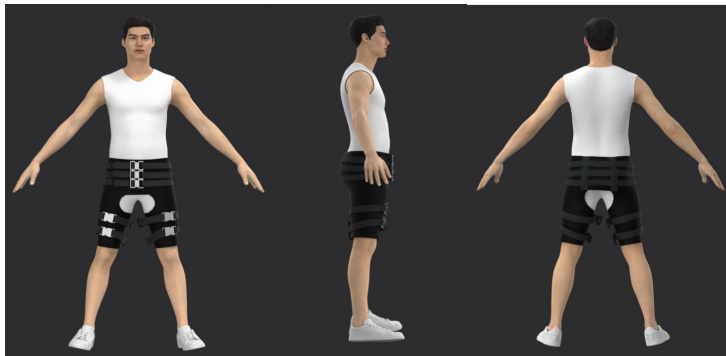
〈Fig. 4〉 Simulate the load on the fastener connection

climbing sutra(미국)사의 플라잉 스포츠를 착용하였다(Fig. 1). 플라잉 스포츠 하네스는 다리를 벌이거나 걷는 등의 동작을 구현할 때 활용성에 제약을 주기 않기 위해 아랫배 부분에서 가랑이 부분이 오픈된 형태로 디자인되었다. 신체에 걸리는 압력을 측정하기 위한 센서로는 Novel GmbH(독일)사의 압력센서가 사용되었으며, 스트랩 형태의 센서로 블루투스 통

신으로 측정된 압력값에 대한 데이터를 Pliance-X 프로그램으로 실시간으로 연동하여 압력 값을 분석하였다(Fig. 2). 압력센서는 마네킹의 양발을 바닥에 지지한 상태에서 허리부분의 앞, 뒤에 각각 1개씩 부착하여 보정(calibration)하였다(Fig. 3). 또한 콘텐츠에 따른 체형활동에 대한 동작을 반영하기 위해 솔리디어랩(한국)사의 와이어 플라잉시스템을

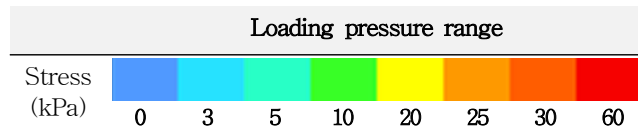


〈Fig. 5〉 하네스 도식화와 가상착의에 적용된 패턴



〈Fig. 6〉 Virtual wear of short pants harness by CLO 3D program

〈Table 1〉 Pressure distribution range of CLO 3D program



이용하여 플라잉 상태를 모사하였으며 하네스와 플라잉시스템을 연결하기 위한 체결장치는 기존 고리(pick point) 형태의 연결부위를 보강하여 〈Fig. 4〉에서 보는 것과 같이 하중 1200N까지 견딜 수 있는 금속재질의 체결장치를 사용하였다.

2. CLO 3D 프로그램을 이용한 가상착의 적용

본 연구에 사용된 3차원 가상 착의 디자인은 (주)클로 비주얼 패션의 CLO 3D Modelist ver. 6.1. 시스템을 사용하였으며, 가상착의는 프로

그램에서 제공하는 아바타(MV2_Henry.avt)를 사용하였다. 가상착의를 위해 아바타에 착용된 2D 패턴과 도식화를 <Fig. 5>에 나타내었으며, 시물레이션(simulation)을 통해 아바타에 하네스 의상을 착용 시킨 것은 <Fig. 6>에 나타내었다.

3차원 가상착의 시물레이션에서 아바타에 하네스 의상을 착용시켰을 때 아바타의 면적이 나 부피, 움직임에 따라 발생하는 힘의 정도를 의복압(kPa)으로 표시하여(Hong et al., 2015) 실제 측정된 실험값과 비교하고자 하였다. 또한 프로그램 내의 압박정도는 0 kPa에서 60 kPa 범위 내에서 8단계로 세분화하여 압력 범위를 구분하였으며, 그에 따른 색상 범위를 설정하여 색 분포도를 <Table 1>에 나타내었다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

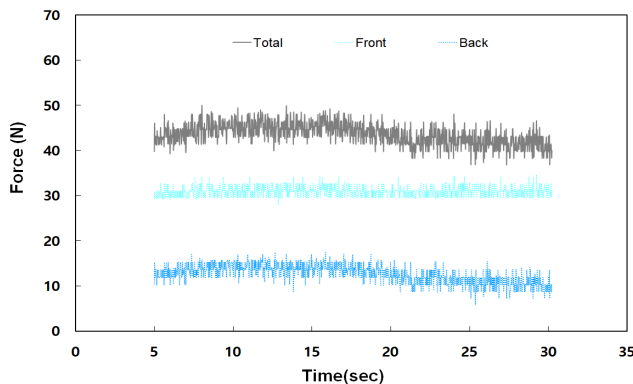
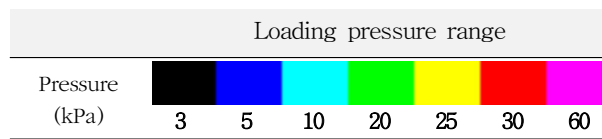
1. 압력센서를 이용한 바지형태 하네스의 착용압력 분석

하네스 착용 시 신체가 느끼는 압박정도를 측정하기 위해 압력센서를 사용하여 측정하였으며 실험에 사용된 센서는 16개의 셀(cell)들이 4줄로 배열된 스트랩 형태로 총 64개의 개별 셀이 각각의 압력을 측정되며 3~300 kPa 범위내의 압력을 신뢰도 있게 측정 가능한 센서이다(Table 2). 이전 실험결과를 토대로 3~60 kPa 범위의 압력에 대해 7단계로 세분화하여 압력범위를 구분하였으며 <Table 3>에 그 색상분포를 나타내었다. 그 결과 <Fig. 7>과 <Fig. 8>에 나타낸 것과 같이 플라잉 상태에서 하네스가 신체에 작용하는 총 하중은 약 40~50 N으로 총 하중의 71%에 해당하는 30 N이 앞쪽에 분포하고 뒤쪽에는 평균 13 N의 하

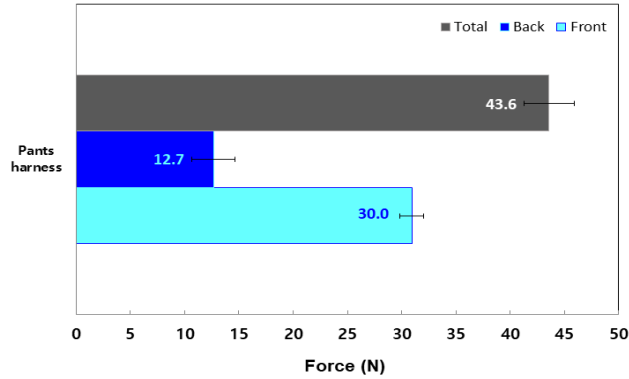
<Table 2> Sensor specification for pressure measurement

Sensor area	Pressure range	Sensitivity	Number of Sensor cell
160 × 40 mm	3 ~ 300 kPa	1 sensor cell/cm ²	64 ea

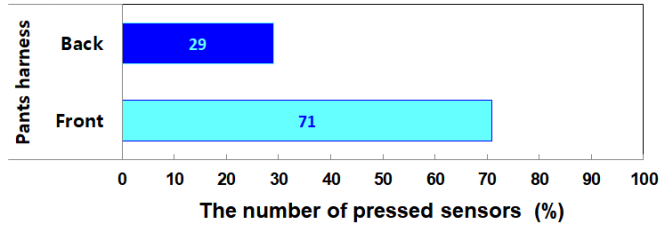
<Table 3> Pressure distribution range of Novel program



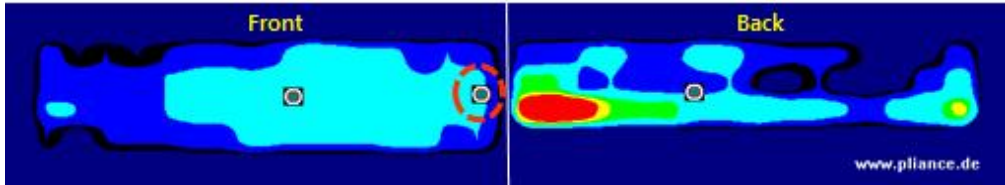
<Fig. 7> Loading force on front and back sides of short pants harness



〈Fig. 8〉 Loading force value on front and back sides of short pants harness



〈Fig. 9〉 Loading distribution on front and back sides of short pants harness



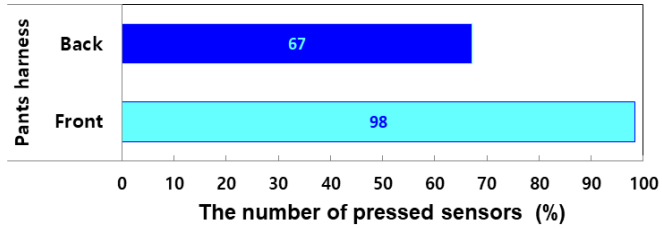
〈Fig. 10〉 2D image on front and back sides of short pants harness

중이 분포하는 것을 확인 할 수 있었으며 앞쪽과 뒤쪽에 걸리는 하중이 크게 차이나는 것을 확인하였다(Fig. 9). 무게중심을 관찰한 〈Fig. 10〉의 2D 압력분포 그래프에서도 플라이 상태에서 무게중심이 앞쪽으로 편중되었으며 3 kPa 이상의 압력이 측정된 면적측면에서도 앞

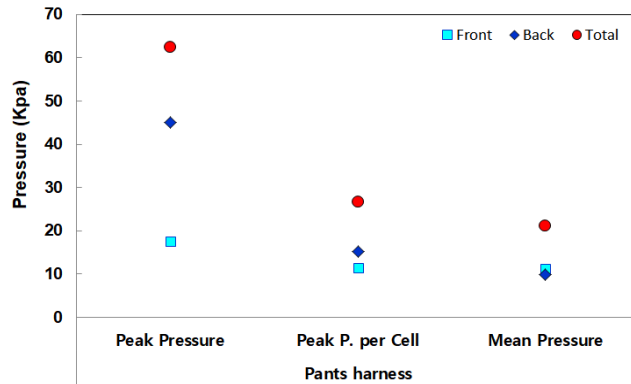
쪽이 뒤쪽보다 넓은 것을 확인 할 수 있었다. 즉 하네스 착용 후 가상현실 속에서 외부충격에 대한 체험의 극대화를 위해 흔들림이나 플라이 상태를 재현할 때 큰 활동에 제약을 받은 하네스의 디자인적인 측면을 고려하여 착용자의 안전을 위해 신체의 무게중심이 앞쪽으로 편



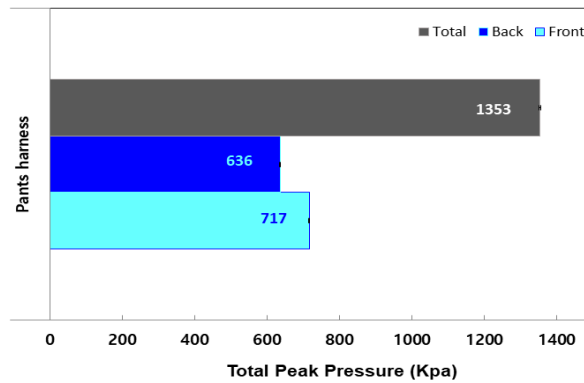
〈Fig. 11〉 Pressured sensor cells on front and back sides of short pants harness



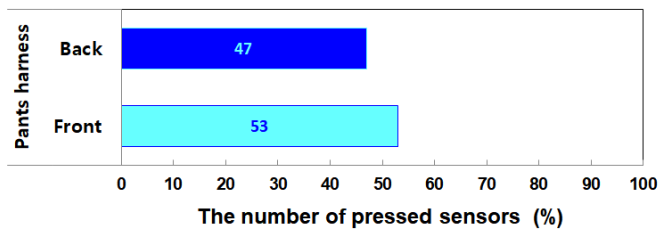
〈Fig. 12〉 Pressured sensors distribution on front and back sides of short pants harness



〈Fig. 13〉 Peak and mean pressure on front and back sides of short pants harness



〈Fig. 14〉 Total peak pressure value on front and back sides of short pants harness



〈Fig. 15〉 Total peak pressure distribution on front and back sides of short pants harness

중되도록 의도적으로 설계되었다고 판단된다.

플라이 상태에서 바지형 하네스 착용으로 인한 하중압력은 앞쪽과 뒤쪽에 위치한 128개의 셀 하나하나에 측정된 압력 수치를 <Fig. 11>에 나타내었으며 압력이 측정된 압력 센서의 비율은 앞쪽이 98%로 2개의 셀을 제외한 모든 셀들이 3 kPa 이상 센싱되었으며, 뒤쪽은 42개의 셀들이 압력 값을 나타내어 67%의 비율을 나타내었다(Fig. 12).

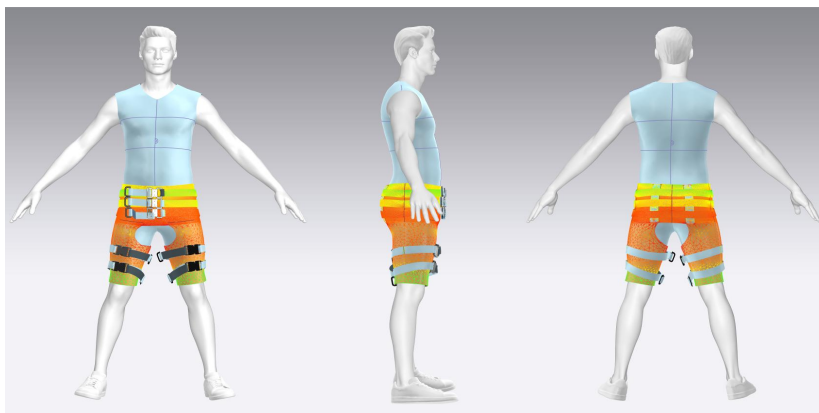
측정된 압력을 세분화해보면 먼저 센서에 부착된 셀 중에서 압력 값이 3 kPa이상의 값을 나타내는 셀에 해당하는 평균 최고 압력 값은 15 kPa으로 뒤쪽에서 높게 나타났으며 앞쪽은 12 kPa로 약간 낮은 값을 보였다(Fig. 14). 그러나 각 셀에 측정된 압력 값을 압력이 측정되지 않은 전체 셀로 분포되었을 때의 평균 압력 측면에서는 앞쪽 압력 값은 최고 압력 값과 유사한 약 11 kPa의 압력 값을 보이는 것에 비해 뒤쪽의 평균 압력값은 약 10 kPa로 그 값이 33% 감소하였다. 이는 뒤쪽에는 센싱되지 않은 셀의 비중이 높았기 때문에 평균 압력측면에서는 오히려 앞쪽의 압력 값이 유사한 거에 비해 뒤쪽의 압력 값이 크게 변동되어 앞쪽과 뒤쪽의 평균압력 차이는 크게 줄어들었다.

따라서 플라이 상태에서 하네스 착용으로 인한 총 하중압력으로 분석해보면 <Fig. 14>에서 보는 것과 같이 앞쪽에는 약 720 kPa의 압력이 가해지고 뒤쪽에는 약 640 kPa의 압력이 측정되어 앞쪽과 뒤쪽의 의복압 차이가 크게

줄어들어 그 비율이 53 % 대 47%로 착용자가 느끼는 압력의 편중현상은 크게 줄어들 것으로 판단된다(Fig. 15).

2. 3차원 가상착의 분석

실제 측정된 실험값과의 데이터 비교를 위해 3D 프로그램을 사용하여 제작한 가상 하네스 의상을 아바타에 착장시킨 후 의복압을 <Fig. 16>에 나타내었으며, 각 신체 부위별 측정된 압력 데이터 값을 <Table 4>에 세분하여 자세히 제시하였다. 그 결과 CLO 3D 프로그램에서 측정된 압력 값의 합계와 평균값은 실제 측정된 실험값과 달리 뒤쪽이 더 높은 값을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 3D 프로그램상의 의복압은 플라이 상태에서 하중이 앞쪽으로 치우치면서 무게중심이 이동하는 것과 달리 중력하중이 앞쪽과 뒤쪽에 똑같이 반영된 결과로 플라이 상태에서 신체굴곡이 심한 뒤쪽부분의 의복 여유량이 줄어들어 오히려 압력이 더 높게 나타난 것으로 사료된다. 즉 플라이 상태에서 하네스 착용으로 인한 총 하중압력과 3D 프로그램으로 측정된 의복압 데이터를 비교한 결과, 플라이 상태에서는 앞쪽과 뒤쪽 각각 717 kPa, 636 kPa를 보인 것에 비해 3D 프로그램에서는 각각 249 kPa 308 kPa로 낮게 나타났다(Fig. 17). 이는 플라이 상태에서 서있는 상태보다 52~65 % 더 많은 하중 압력이



<Fig.16> Virtual wear model of short pants harness by CLO 3D program

가해지는 것으로 판단되어지며 신체 굴곡에 따른 디자인 반영으로 무게중심의 이동도 구현해 낼 수 있는 가상착의 패턴 개발이 이루어져야 될 것으로 사료된다.

IV. 결론 및 제언

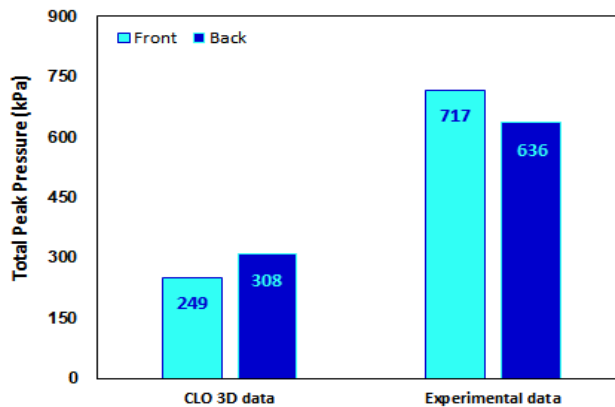
본 연구에서는 엔터테인먼트 활동 시 착용하는 바지형태의 플라이 스포츠 하네스가 신체에 미치는 하중과 압력을 알아보고자 하였다. 또한 실제 하네스를 착용하였을 때 신체가 느끼는 압력에 대한 정보를 사전에 예측하기 위해

CLO 3D 프로그램을 이용하여 가상착의에 대한 데이터를 분석하여 실제 압력분포와 비교하고자 하였다.

연구 결과 바지 하네스를 착용한 후 플라이 상태에서 신체에 가해지는 총 하중은 약 44 N 이고 앞쪽에 약 71%의 하중이 편중되어 30 N 을 나타내었으며 상대적으로 뒤쪽에는 13 N이 걸려 약 30%의 하중분포가 형성되는 것을 확인하였다. 3D 가상착의 프로그램을 통한 의복 압의 경우에는 총 하중은 570 N으로 앞쪽과 뒤쪽의 비율은 45대 55의 비율로 분포하는 것으로 나타났다. 이는 실제 측정한 하중값과는 상이한 결과로 하네스의 디자인에 따라 플라이

〈Table 4〉 Stress data of short pants harness by CLO 3D program (단위: kPa)

측정 위치	벨트부분		허리부분		측정 위치	엉덩이 중심부		허리선 부근	
	상	15.98	20.52	26.80		상	17.83	17.65	19.50
중	19.25	28.85		중	21.77	33.05	30.12		
하	31.14	32.88		하	34.11	36.26	34.07		
측정 위치	팬츠			측정 위치	팬츠				
상	33.68			상	42.91				
중	30.21			중	29.10				
하	10.80			하	10.53				
합계	249.11				합계	308.31			
평균	24.91 (±7.84)				평균	28.03 (±9.19)			



〈Fig. 17〉 Total peak pressure value on front and back sides of harness by measurement tool

상태에서 무게중심이 변화됨에 따라 하중의 변화가 발생되었으나 이를 가상착의 프로그램에 반영되지 못해 그 결과가 일치하지 않는 것으로 판단된다. 실제 측정 데이터와 CLO 3D 프로그램의 압력분포 측정 결과는 향후 하네스의 디자인에 따라 가상착의 프로그램에서 신체굴곡을 반영한 상태의 착장법에 대한 연구로 사용할 예정이다.

본 연구를 통해 엔터테인먼트 활동을 위한 바지형 하네스를 착용한 후 플라잉 상태에서 착용자에게 가해지는 하중 및 입력에 대한 분포를 확인하였으며, 나아가 기존에 바지형 하네스가 가지고 있는 착용시 불편감을 해소시켜 줄 수 있는 디자인 개발에 필요한 데이터베이스를 확보하였다고 판단한다. 또한 신체굴곡이 반영된 바지형 하네스의 경우에는 착용 시 밀착성의 변화 및 무게중심의 이동에 따른 실험 시 변수가 가상착의 프로그램에는 적용되지 않는 것을 확인하였으며 실제 측정된 데이터와의 상관관계를 예측하기 위한 다양한 변수를 고려한 프로그램 적용에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

하중 압력분포 측정 결과는 향후 하네스에 대한 착용감과 불편감 개선을 위한 기초자료로 제시하고, 다양한 활동에 대한 착용 시 불편감을 최소화 할 수 있는 하네스를 개발하여 체험 활동에 대한 집중도를 높이는데 도움이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- Ahn, J. C., Kim, D. K., & Han, J. W. (2013). An empirical case study on the robinson's risk recreation model for its' applications of adventure tourism product development: Focusing on river bugging guided tour case.
- Baker, E. S., Barratt, M. R., Sams, C. F., & Wear, M. L. (2019). Human response to space flight. In *Principles of clinical medicine for space flight*. *Principles of Clinical Medicine for Space Flight*, 367-411.
- Bradt Miller, B., Whitestone, J., Feldstein, J., Hsiao, H., & Snyder, K. (2000). Improving fall protection harness safety: Contributions of 3D scanning. *Proceedings of Scanning*, 117-128.
- Dongwoo, N., Miyeon K., Juhea K., Bummo A., (2019). Development of pant-type harness with fabric air-pocket for pain relief. *Applied sciences*, 9(9), 1921.
- Genc, K. O., Mandes, V. E., & Cavanagh, P. R. (2006). Gravity replacement during running in simulated microgravity. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77(11), 1117-1124.
- Hafner, J., Lüthi, W., Hänssle, H., Kammerlander, G., & Burg, G. (2000). Instruction of compression therapy by means of interface pressure measurement. *Dermatologic Surgery*, 26(5), 481-488.
- Hong, E. H., Uh, M. K., & Kim, K. A. (2015). Comparative analysis of the patterns for Men's jean pants by 3D virtual garment simulation evaluation. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association*, 17(2), 223-237.
- Hsiao, H., Whitestone, J., & Kau, T. Y. (2007). Evaluation of fall arrest harness sizing schemes. *Human Factors*, 49(3), 447-464.
- Lai, C. H., & Li-Tsang, C. W. (2009). Validation of the Pliance X System in measuring interface pressure generated by pressure garment. *Burns*, 35(6), 845-851.
- NASA-STD-3000. (1996). Anthropometry and biomechanics. *National Aeronautics and Space Administration*, 1(3), 1-7.
- Nam, H. W. (n.d.). VR 기반 실감형 스포츠 게임 기술과 표준화 동향. *TTA Journal*, 171, 63-69.
- Noh, C. H. (2019). 멀미·어지럼증 최소화한 VR 어트랙션, 'VR플라잉' 프로토타입 공개.

- Chosun Biz*. 자료검색일 2021. 8. 23. 자료 출처, http://it.chosun.com/site/data/html_dir/2019/07/09/2019070901160.html
- Novotny, S. C., Perusek, G. P., Rice, A. J., Comstock, B. A., Bansal, A., & Cavanagh, P. R. (2013). A harness for enhanced comfort and loading during treadmill exercise in space. *Acta Astronautica*, *89*, 205-214.
- Palya, Z., & Kiss, R. M. (2020). Biomechanical analysis of the effect of compression sportswear on running. *Materials Today: Proceedings*, *32*, 133-138.
- Park, M. J. & Lee, B. J. (2004). The features of VR(virtual reality) communication and the aspects of its experience. *Journal of Communication Research*, *41*(1), 29-61.
- Seo, G. Y. (2021). Study on the efficient utilization method of UI based on the UI case analysis of virtual reality games. *Journal of Digital Contents Society*, *22*(3), 383-392.